Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris, 4e sér., **1**, 1979,
section B, nº 4 : 329-354.

Biomasse et production du phytoplancton de la baie de Guanabara (État de Rio de Janeiro, Brésil) et du secteur océanique adjacent. Variations de mai à juillet 1978

par J. Sevrin-Reyssac, M. C. Machado, M. L. Motta Schutze, S. Gaspar Bibas, I. Costa de Lima, C. Araujo Lima et C. P. Esteves *

Abstract. — The quantitative evolution of phytoplankton was studied at 8 stations in the bay of Guanabara and at 2 stations in the oceanic waters. These two areas, and chiefly the bay, are characterized by a very important pollution. In the bay, the phytoplankton is exceptionally rich (often more than 10 million of cells/liter) and especially constituted with Cyanophyceae (until 45 million of filaments/liter) and with Diatoms (until about 27 million/liter). The *Cyclotella*, *Thalassiosira*, *Skeletonema* and *Nitzschia* are the most represented. Red waters, chiefly caused by the multiplication of a Chloromonadine (about 20 million of cells/liter) were observed. The concentrations of chlorophyll *a* are, very often, more than 20 mg m^{-3}. The maximum observed was 47,7 mg m^{-3}. Primary production is very high : until 1374 mg C m^{-3} day. The abundance of phytoplankton is characteristic of an eutrophic area.

In the oceanic waters, the phytoplankton is much sparser (generally less than 1 million of cells/liter and less than 1 mg m^{-3} of chlorophyll *a*).

Resumo. — Neste trabalho, pretendemos dar uma idéia da importância quantitativa do fitoplancton e de suas variações no espaço e no tempo em ambientes caracterizados por uma forte poluição.

As coletas foram feitas uma vez cada 10 dias, de maio a julho de 1978 em 8 estações localizadas na baía de Guanabara e em 2 estações distribuidas nas águas oceânicas na altura de Ipanema (estado de Rio de Janeiro, Brasil).

Na baía, são frequentes populações superiores aos 10 milhões de células/litro. As Cianofíceas que apresentam desinvolvimentos consideraveis (até 47 milhões de filamentos/litro) e as Diatomáceas que proliferam em toda a baía (cerca de 27 milhões de células/litro), constituem geralmente a parte principal da biomassa fitoplanctônica. As Diatomáceas pertencem principalmente aos generos *Cyclotella*, *Thalassiosira*, *Skeletonema* e *Nitzschia*.

Mesmo os Dinoflagelados que foram pouco representados na maioria das coletas, algumas vezes, tomaram uma importância muito grande (até 11 milhões/litro). Isto ocorreu, sobretudo, nos lugares mais calmos da baía, onde eles contribuiram para a formação de águas vermelhas. *Gonyaulax diacantha*, *Gonyaulax catenata* e *Prorocentrum micans* foram particularmente abundantes.

As condições naturais na baía (aguas calmas, quentes e muito poluidas) são propicias ao aparecimiento de águas vermelhas. Essas condições favorecem a pululação de um fitoflagelado do grupo das Chloromonadinas cuja concentração foi aproxidamente de 20 milhões de células/litro. Foram sobretudo esses organismos e não os Dinoflagelados, que provocaram o aparecimento das águas vermelhas durante o período de estudo.

As concentrações em clorofila *a* são muito altas, sobretudo no norte da baía, onde elas excedem muitas vezes 20 mg m^{-3}. O valor maximo (47,7 mg m^{-3}) correspondeu as águas vermelhas.

* J. Sevrin-Reyssac : *Muséum national d'Histoire naturelle, Laboratoire d'Ichtyologie générale et appliquée, 43, rue Cuvier, 75231 Paris Cédex 05, France.*
M. C. Machado *et al.* : *Universidade Santa Úrsula, C. P. 16086, Rio de Janeiro, R. J. Brasil.*

A importância das populações de fitoplancton também aparece nos resultados das medidas da produção primária (método do 14 C « in situ ») obtidos na baía de Botafogo. Embora essas águas sejam as menos ricas de toda a baía, a produção primária é muito alta : medias mensais superiores à 600 mg C m^{-3} dia. O valor maximo observado foi de 1374 mg C m^{-3} dia. Nós os consideramos como caracteristicos de meios transformados.

Além de sua grande abundância, o fitoplancton da baía é também caracterizado por uma forte variabilidade quantitativa no espaço e no tempo. Essa particularidade aparece tanto nos resultados das numerações celulares quanto nos de dosagens da clorofila *a*.

As populações são menos densas na estações proximas à saida da baía do que naquelas situadas no interior, mas observe-se também, frequentemente, grandes diferenças entre estações vizinhas. Essa variabilidade se explica por condições muito variaveis do meio, segundo os lugares da baía (submetidos as causas de poluição de natureza diferente). Com relação as variações temporais, observa-se que a sua amplitude aumenta da entrada da baía em direção de sua parte mais interna.

A abundância consideravel das células na baía pode ser considerada como característica de uma região eutrófica.

No setor oceânico situado na altura de Ipanema, a densidade do fitoplancton é bem menor que na baía. Na maioria das amostras, ela não excede 1 milhão de células/litro. Frequentemente, as Cianofíceas têm uma importância semelhante. Os Flagelados, entre os quais encontraram-se alguns Chloromonadinas, e as Diatomáceas, são os principais constituintes do fitoplancton. As proliferações, bem mais fracas que na baía, apareceram sobretudo ao nivel inferior da camada eufótica (até 8,6 milhões de filamentos/litro para as Cianofíceas e até 3,8 milhões de células/litro para as Diatomáceas). Na estação mais submetida à influência do esgoto, o desinvolvimento do fitoplancton não foi mais importante de que na estação mais distante.

Os Dinoflagelados foram raros em todas as amostras.

As concentraçoes de clorofila *a* são muito fracas, comparadas com as da baía (menos de 1 mg m^{-3}).

Apezar das influências de naturezas variadas e que não podem ser separadas (esgoto de Ipanema, baía de Guanabara, lagoa de Freitas), as populações fitoplanctonicas não parecem ter sido modificadas.

Introduction

Nous exposerons ici les premiers résultats du travail entrepris par l'Université Santa Úrsula de Rio de Janeiro sur le phytoplancton d'une zone littorale soumise à une intense pollution. Seul l'aspect quantitatif sera envisagé. Les aspects qualitatif, dynamique (étude des indices de diversité spécifique) ainsi que les caractéristiques biogéographiques du phytoplancton de cette région feront l'objet d'un travail ultérieur.

Dans le cadre de cette étude, nous nous intéresserons au développement des populations végétales dans l'espace et le temps, en rapport avec un milieu dont les caractéristiques naturelles ont été profondément modifiées par suite d'une forte pollution d'origine industrielle et domestique. L'étude du phytoplancton est particulièrement importante dans de telles zones car les organismes qui le composent ont la capacité de concentrer les polluants (Yoshida, 1973), ou de les retenir par phénomène d'adsorption, lorsqu'il s'agit d'hydrocarbures par exemple (Marchand et Duursma, 1975).

La baie de Guanabara, très riche sur le plan ichtyologique (Sciaenidae, Carangideae, Engraulidae, Clupeidae), est le siège d'une pêche active. La présence, surtout en été, d'abondantes populations de sardines, contribue à en faire un secteur de premier plan du point de vue économique. Or, l'alimentation des sardines étant, en partie, constituée de phytoplancton, on comprend l'importance de ces végétaux, non seulement comme maillon essen-

tiel dans la chaîne alimentaire mais aussi comme moyen de transfert, vers des organismes directement consommables par l'homme, de matières toxiques diverses. Selon les estimations faites à Rio de Janeiro par la FEEMA (Fundação estadual de Engenharia do Meio ambiente), 14 tonnes de substances hautement toxiques seraient déversées chaque jour dans la baie. Celle-ci aurait ainsi la plus forte concentration connue en mercure.

Méthodologie

Les méthodes utilisées étant classiques, nous n'en parlerons que très brièvement.

Numérations des cellules : Les comptages ont été faits au microscope inversé (méthode d'Utermöhl) à l'aide de cuves à sédimentation de 10 ml. En raison de la richesse des eaux en phytoplancton et de la grande quantité de matière détritique dans la baie de Guanabara, il a été nécessaire de diluer, à l'eau distillée, les échantillons d'eau de mer (fixés au formol) destinés aux comptages. Pour les échantillons provenant de la baie, le volume d'eau de mer était inférieur à 1 ml. Dans les eaux océaniques, beaucoup moins riches, le volume a été plus important (jusqu'à 2 ou 3 ml).

Mesure des pigments : Aux stations de la baie, filtration de 1 à 2 litres sur filtre en fibre de verre Whatman GF/C. Dans les eaux océaniques, la quantité d'eau filtrée a été de 3 à 5 litres. Traitement du filtre à l'acétone après broyage et centrifugation de l'extrait pendant 10 à 15 minutes à 4 000 rotations/m. Calcul des concentrations en chlorophylle *a*, sans acidification, à l'aide des formules préconisées par le groupe de travail international de l'UNESCO (Anonyme, 1966).

Mesure de la production primaire : Les flacons utilisés, d'une contenance de 250 ml, ont été placés pour l'incubation, en surface et au niveau inférieur de la couche euphotique, c'est-à-dire généralement au fond (5 m). Marquage avec 0,5 ml d'une solution de 14 C ayant une activité de 7,18 μ C/ml. Cette expérience a eu lieu dans la baie de Botafogo (station DW 5). L'incubation débutait entre 9 et 10 h pour se terminer entre 13 et 14 h. Cette durée de quatre heures paraît suffisante, surtout dans les eaux chaudes et très polluées où il est préférable de ne pas augmenter encore l'action des bactéries à l'intérieur des flacons en prolongeant l'expérience. Filtration dès le retour au laboratoire, soit moins de 1 heure après la récupération des flacons, sur membranes filtrantes de 0,45 μ de porosité.

Les comptages des filtres ont été faits à l'Institut océanographique de Paris, en scintillation liquide [1].

I. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES MILIEUX ÉTUDIÉS

Les deux régions sur lesquelles porte ce travail, baie de Guanabara et secteur océanique au large d'Ipanema (fig. 1), sont très voisines mais les conditions du milieu y sont fondamentalement différentes.

1. Nous remercions bien sincèrement Mme Joseph d'avoir accepté de se charger de ces comptages.

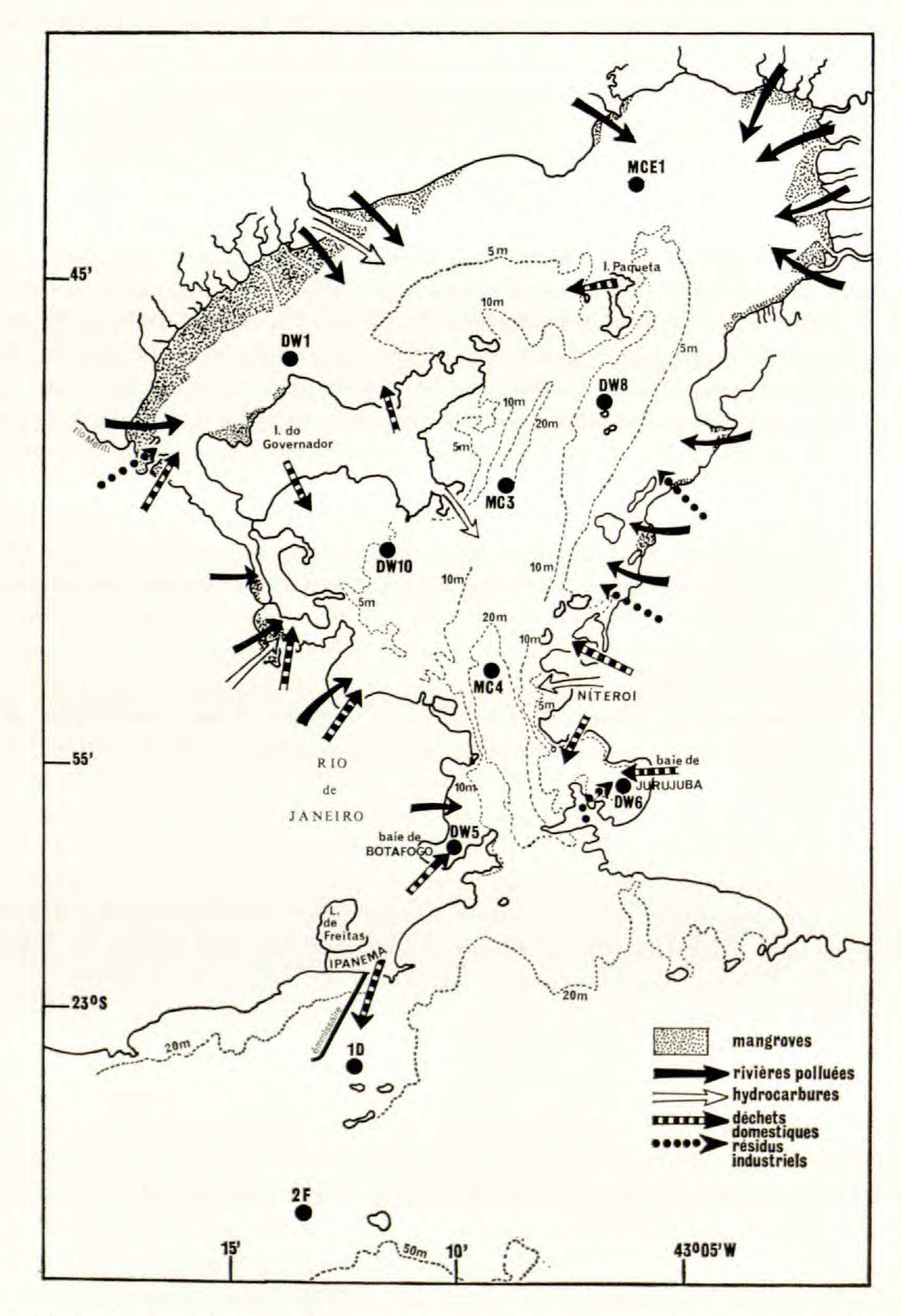


Fig. 1. — La baie de Guanabara et le secteur océanique voisin. Position des points d'observations et principales sources de pollution (d'après les informations fournies par la FEEMA).

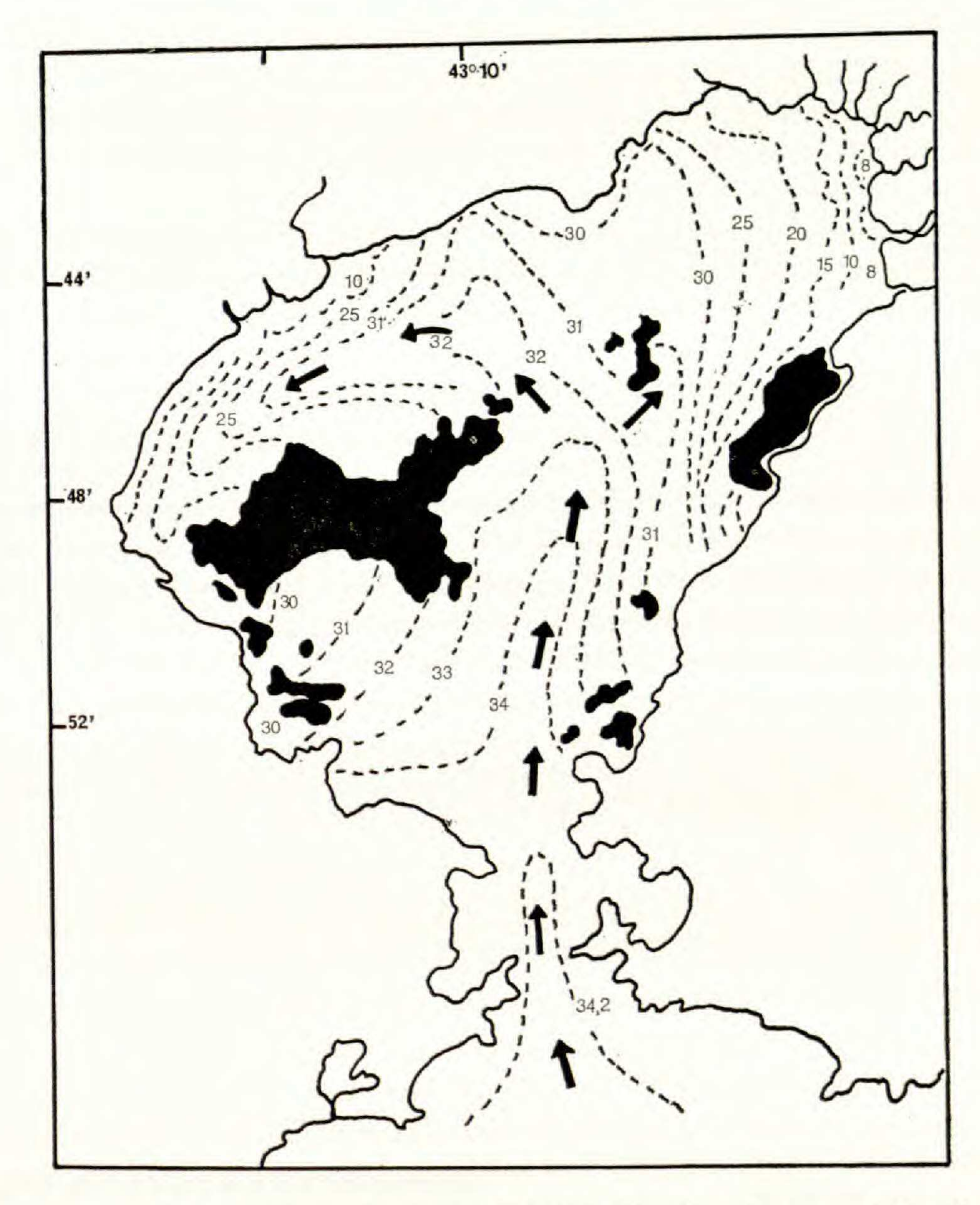


FIG. 2. — Isohalines superficielles d'après OLIVEIRA (1950) et direction du courant dans la baie de Guanabara. Ces courbes s'incurvent vers la mer pendant la marée descendante, vers la terre pendant la marée montante. Elles sont profondément modifiées en période de pluies. Les flèches indiquent la direction du courant qui entre dans la baie avec les eaux les plus salées.

A. — BAIE DE GUANABARA

Avec une superficie de 400 km² et une profondeur maximale de 54 m, cette baie constitue un ensemble isolé des influences extérieures car elle ne communique avec l'océan que par une entrée de 1 600 m de large. Son diamètre nord-sud est de 26 km, le diamètre est-ouest de 28 km. Elle reçoit une dizaine de rivières non périodiques qui lui apportent des alluvions et diluent ses eaux. Voisine de $34^{o}/_{oo}$ dans le sud de la baie (c'est-à-dire près de son entrée), la salinité est beaucoup plus basse dans la partie nord qui est occupée par des eaux saumâtres et bordée par des mangroves (fig. 1 et 2). L'amplitude des marées est faible (0,5 à 1,3 m) ce qui contribue à faire de la baie un secteur où les eaux sont relativement peu renouvelées.

La vitesse du courant de marée est de 0,5 à 1,5 nœud à l'entrée de la baie. Vers le nord, dans les parages de l'île de Paqueta (fig. 1), elle est de 0,3 à 0,6 nœud.

La figure 2, empruntée à Oliveira (1950), donnera une idée d'ensemble des conditions halines dans la baie. Les courbes isohalines ont été établies à partir d'un grand nombre de mesures faites à des saisons différentes.

Dans notre travail, les prélèvements de plancton et les observations hydrologiques ont été faits en 8 points (fig. 1) dont l'emplacement a été choisi de telle sorte qu'ils soient le plus possible représentatifs de toutes les conditions qu'on peut rencontrer dans l'ensemble de la baie. Les sorties ont eu lieu à raison d'une tous les 10 jours environ, pendant une saison qui correspond à l'automne et au début de l'hiver austral.

Voici les principales caractéristiques du milieu à ces huit stations (fig. 1, 2 et 3) :

Stations DW 5 et DW 6 : Ce sont les plus proches de l'océan. La première se trouve dans la baie de Botafogo, la seconde dans la baie de Jurujuba. La profondeur est de 5 m. Les salinités ont été de 33,06 à 34, 73 $^{0}/_{00}$ à la station DW 5. Elles sont un peu plus basses dans la baie de Jurujuba. Les températures subissent peu de changements : de 23 à 23,5°C au mois de mai, elles ont été voisines de 22°C en juin et juillet. Les concentrations en oxygène dissous ont été, le plus souvent, comprises entre 3,5 et 4,5 ml/l avec un maximum en juillet atteignant 7 ml/l à la station DW 6. Les teneurs en phosphates ont été de 0,20 à 0,60 μg at/l, les valeurs les plus élevées ayant été trouvées à la station DW 6. Compte tenu de la faible profondeur, l'ensemble de la couche d'eau est éclairé. La pollution est surtout due à des égouts dans la baie de Botafogo. Quant à la baie de Jurujuba, outre les déchets domestiques, elle reçoit aussi des résidus industriels et, en particulier, des hydrocarbures. Ces deux secteurs ne sont pas directement soumis à l'influence de rivières.

Stations MC 4 et MC 3 : Ces deux stations se situent dans l'axe nord-sud de la baie, face au goulet de sortie. C'est sur cet axe surtout que se manifeste l'onde de flot (fig. 2) par suite de profondeurs plus importantes : 20 m à ces deux points. Les observations ont eu lieu en surface et au fond de la couche euphotique déterminé à partir de la profondeur de disparition du disque de Secchi (d = 2,5 S). Les salinités étaient plus fortes au fond de la couche euphotique (jusqu'à 35,28 $^{0}/_{00}$) qu'en surface (31,87 à 33,91 $^{0}/_{00}$) par suite de la présence d'eaux marines sous-jacentes aux eaux saumâtres superficielles en raison de leur plus forte densité. La salinité est, en moyenne, un peu plus faible à la station MC 3 par suite de sa position plus interne. Les températures de surface, supérieures à 24°C en mai, ont été de 22 à 22,5°C en juin et juillet. La différence entre les 2 niveaux étudiés a été en général inférieure à 1°C. Les concentrations en oxygène dissous sont de 3 à 4 ml/l. Elles sont plus élevées en juin et juillet. Maximum observé : 7 ml/l à la station MC 3. Les concentrations en phosphates sont un peu plus élevées au point MC 3 (0,34 — 0,40 μg at/l) qu'au point MC 4 (de l'ordre de 0,25 μg at/l). Les teneurs moyennes sont peu différentes aux deux niveaux. L'épaisseur de la couche éclairée a été de 5 à 6 m. Les eaux sont polluées par des hydrocarbures, des résidus de l'industrie chimique, des égouts ou rivières polluées.

Station DW 8 : Elle est située au sud de l'île de Paqueta, au-dessus de fonds de 10 m. Les conditions du milieu y sont très proches de celles du centre de la baie mais les salinités sont plus basses et très variables : de 23,33 à plus de 32 $^{0}/_{00}$. Les eaux sont également polluées par des hydrocarbures et des égouts.

Stations MCE 1 et DW 1 : Nous sommes ici dans la partie la plus septentrionale de la baie sur des fonds inférieurs à 5 m. Par suite de l'arrivée de nombreuses petites rivières, la salinité est très faible, les minima se rencontrant à la station MCE 1 : de 28 à 29,5 ‰, en moyenne. On constate, par ailleurs, de fortes variations dans le temps : de 26,98 à 31,75‰ au point DW 1 pendant la période de nos observations. Les températures, qui sont de l'ordre de 24°C au mois de mai, tombent ensuite à 21-22°C. A la station DW 1, les teneurs en oxygène dissous présentent de fortes variations temporelles : de 1,05 à 9,24 ml/l. On note aussi, dans ces parages, des concentrations en phosphates plus élevées que dans le reste de la baie (maxima compris entre 0,75 et 1,07 µg at/l). Les eaux se caractérisent par une grande quantité de matière en suspension. La transparence est donc très faible. L'épaisseur de la couche euphotique est, en général, voisine de 5 m. Cette partie de la baie est soumise à une pollution particulièrement importante : égouts, résidus industriels (métallurgie, industries chimique, alimentaire, pharmaceutique, textile, industrie du caoutchouc), hydrocarbures, déversement de rivières très polluées. Signalons en outre qu'à plusieurs reprises nous avons constaté, surtout dans le secteur situé au nord de l'île do Governador (fig. 1), la présence, parfois en grande quantité, de la phanérogame flottante *Eichhornia* (Pontederiaceae) qui arrivait dans la baie entraînée par les eaux des rivières. Malgré son état de pollution, toute la zone nord-ouest de la baie est le siège d'une pêche intense.

Station DW 10 : Située au-dessus de fonds de 5 m, au sud de l'île do Governador, cette station est dans un secteur également très fréquenté par les pêcheurs. Plus proches de l'entrée de la baie, les eaux ont une salinité moins basse (> 30‰). C'est ici qu'ont été trouvées les concentrations maximales d'oxygène dissous pour l'ensemble de la baie de Guanabara : jusqu'à 11,08 ml/l à la fin du mois de juin. Comme on le verra plus loin, cette forte concentration correspondait à un phénomène d'eaux rouges. Les teneurs en phosphates sont élevées par rapport aux autres stations : jusqu'à 1,53 µg at/l le 12 mai. La couche euphotique est peu épaisse. En général, elle est de l'ordre de 3 m. Comme dans le nord de la baie, les eaux sont ici fortement polluées : égouts, résidus industriels (métallurgie, industrie du cuir, minerais non métalliques).

Importance de la matière en suspension

Une estimation de la quantité totale de matière en suspension dans l'eau a été faite à partir des prélèvements effectués au mois de mai (filtration d'un certain volume d'eau sur filtre en fibres de verre dont l'indice de rétention était supérieur à 100, ce qui signifie que des particules inférieures à 5 µ peuvent être retenues efficacement).

Les résultats varient beaucoup suivant les stations. Les minima correspondaient aux stations DW 5 et DW 6 avec respectivement 5,6 et 7,2 mg/l (poids de matière sèche). Dans la partie axiale de la baie (stations MC 4 et MC 3), les valeurs sont voisines de 10 mg/l. Elles sont plus importantes dans la partie nord (stations MCE 1 et DW 1) et atteignent un maximum de 27 mg/l au point DW 10.

B. — Secteur océanique au large d'Ipanema

Sur cette partie de la côte brésilienne, la circulation océanique est caractérisée par un courant qui se dirige vers le sud-ouest. C'est le courant du Brésil, continuation du courant sud-équatorial qui atteint la côte brésilienne au niveau du cap São Roque (Signorini, 1976). Dans cette région, on peut distinguer quatre masses d'eau (Moreira, 1976) :

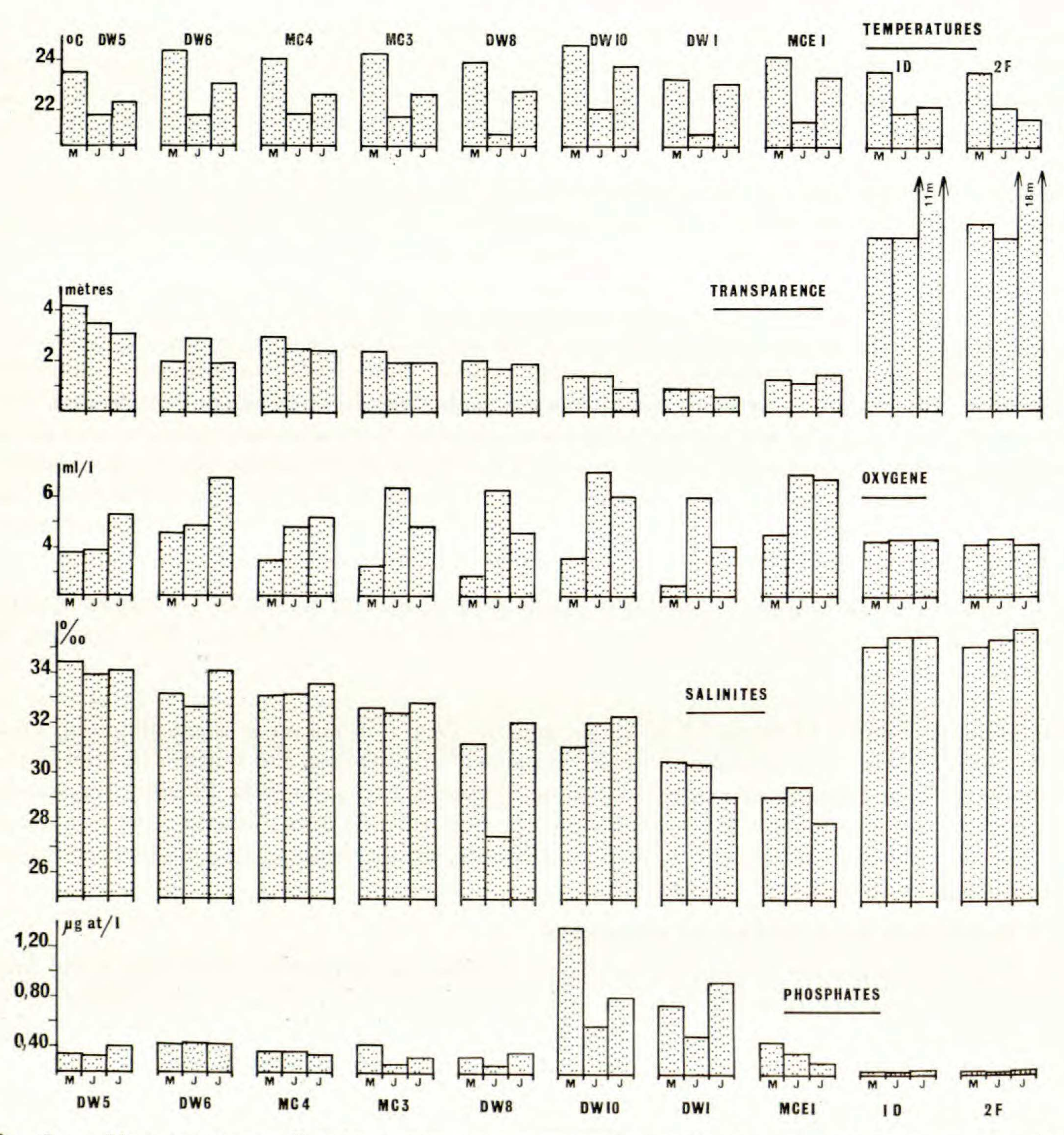


Fig. 3. — Moyennes mensuelles de quelques paramètres physico-chimiques aux huit stations étudiées dans la baie de Guanabara et aux deux stations au large d'Ipanema de mai à juillet 1978. Résultats se rapportant aux eaux de surface. Pour la transparence, nous indiquons la profondeur de disparition du disque de Secchi.

— les eaux tropicales (S : > 36 °/oo, T : > 20°C) qui sont celles du courant du Brésil ;

— les eaux sub-tropicales (S : 35-36 °/oo, T : 10-20°C) sous-jacentes aux eaux tropicales et de direction Nord ;

— les eaux côtières (S : < 35 °/oo, T : > 20°C) formées près du rivage par un mélange avec les eaux douces venant du continent ;

— les eaux de plate-forme (S : 35-36 $^{o}/_{oo}$, T : > 20°C) formées sur le plateau continental par mélange des eaux tropicales, sub-tropicales et côtières.

Au large de Rio de Janeiro, on ne constate pas, comme plus au nord dans les parages du Cabo Frio, de phénomènes d'upwelling.

Deux stations ont été étudiées dans cette zone afin de pouvoir juger si les rejets du grand égout sous-marin d'Ipanema (fig. 1) n'entraînaient pas un développement plus intense du phytoplancton. Prenant en compte les conseils donnés par le personnel de la FEEMA, nous avons déterminé l'emplacement de ces stations de telle sorte que l'une se situe dans la zone atteinte par les influences de l'égout (station 1D), l'autre étant plus au large, donc moins soumise à la pollution. Cette dernière (station 2F) sera considérée comme point de référence. Les caractéristiques hydrologiques de ces deux stations étant très semblables, elles ne seront pas considérées séparément comme nous l'avons fait pour celles de la baie. La seule différence concerne la transparence, plus importante à la station 2F. L'épaisseur moyenne de la couche euphotique est en effet de 26 m à cette dernière station au lieu de 18 m au point 1D. La quantité de matière en suspension est, évidemment, beaucoup plus faible que dans la baie (< 5 mg/l). Les observations ont été faites en surface et au niveau inférieur de la couche euphotique.

La salinité est de 35 à 35,5 $^{o}/_{oo}$ en surface. Elle est généralement un peu plus élevée dans la couche sub-superficielle. La présence de cette nappe de couverture de faible salinité ne peut être imputable qu'à une arrivée d'eau de la baie de Guanabara. Les températures ont varié entre 23 et 24°C en mai. Elles sont voisines de 22°C en juin et juillet. Au fond de la couche euphotique, elles sont de 2°C environ plus basses au point 2F. La différence est plus faible à l'autre station (< 1°C) puisque la couche euphotique est plus mince et que, par conséquent, le prélèvement effectué à son niveau inférieur est moins profond. On peut donc considérer que ces eaux ont les caractéristiques d'eaux de plate-forme telles qu'elles ont été définies plus haut (mélange d'eaux côtières, tropicales et sub-tropicales). L'influence côtière est plus ou moins sensible suivant l'état de la marée, la force et la direction des courants locaux. Les concentrations en oxygène dissous ont une valeur moyenne proche de 5 ml/l en surface. Elles sont un peu plus faibles en profondeur. L'importance des phosphates est ici bien moindre que dans la baie. Comprise entre 0,20 et 0,25 µg at /l, elle est la même aux deux stations et on ne constate pas non plus de différences entre les deux niveaux étudiés. La pollution est due, en partie, aux apports de l'égout sous-marin d'Ipanema, à l'influence de la lagune de Freitas qu'un canal relie à l'Océan (fig. 1), mais aussi à une arrivée d'eau de la baie de Guanabara.

II. LE PHYTOPLANCTON

Les estimations quantitatives de phytoplancton consistent ici en comptages de cellules sédimentées, en dosages de la chlorophylle *a*, et en mesures de la production primaire « in situ » par la méthode du 14C. Nous examinerons successivement les résultats obtenus par ces différentes méthodes, d'une part dans la baie, d'autre part dans les eaux océaniques, au large d'Ipanema.

A. — Baie de Guanabara

1. Numérations des cellules

Pour la présentation des résultats quantitatifs, les organismes du phytoplancton seront séparés en quatre grands groupes : Cyanophycées, Diatomées, Dinoflagellés, Flagellés (autres que les Dinoflagellés).

Cyanophycées

La possibilité d'adaptation de ces algues à tous les milieux leur permet souvent d'acquérir une très grande luxuriance en eaux douces et en mer. Leur physiologie a fait l'objet de nombreux travaux.

L'importance quantitative des Cyanophycées est considérable dans la baie de Guanabara, surtout dans la partie nord (fig. 4). On les trouve fréquemment à raison de plusieurs dizaines de millions de filaments/litre. Elles ont été particulièrement abondantes en mai et juin (40 à 45 millions de filaments/litre). Aux stations proches de l'entrée de la baie, les populations sont toujours moins denses (< 4 millions de filaments/litre). Malgré d'assez fortes variations quantitatives dans l'espace et le temps, les Cyanophycées sont restées très abondantes dans l'ensemble de la baie pendant les trois mois étudiés (fig. 4).

Aux stations MC3 et MC4, où les comptages ont aussi été faits au niveau inférieur de la couche euphotique (tabl. I), les résultats montrent qu'en profondeur, soit entre 5 et 10 m, les effectifs sont, le plus souvent, moins importants (jusqu'à 10 fois moins). La variabilité horizontale dans la répartition de ces organismes s'accompagne donc d'une variabilité verticale.

Tableau I. — Effectifs moyens mensuels (en millions de filaments/litre) des Cyanophycées en surface et au niveau inférieur de la couche euphotique à deux stations de la baie de Guanabara.

Station		Moyenne mai	Moyenne juin	Moyenne juillet
MC3	Surf.	1,2	23,8	5,1
	Prof.	6,0	7,7	5,6
MC4	Surf.	3,0	16,1	13,6
	Prof.	1,8	3,7	3,2

Contrairement à ce qui a été observé dans certaines autres régions littorales tropicales : Madagascar (Sournia, 1968), Côte d'Ivoire (Reyssac, 1970), où l'importance des Cyanophycées ne devient considérable que dans l'intervalle des poussées de Diatomées, les proliférations de Cyanophycées et de Diatomées sont ici simultanées.

Diatomées

Elles ont formé des peuplements très denses à toutes les stations (fig. 4). De fortes multiplications (> 5 millions de cellules/litre) ont été observées dans l'ensemble de la baie,

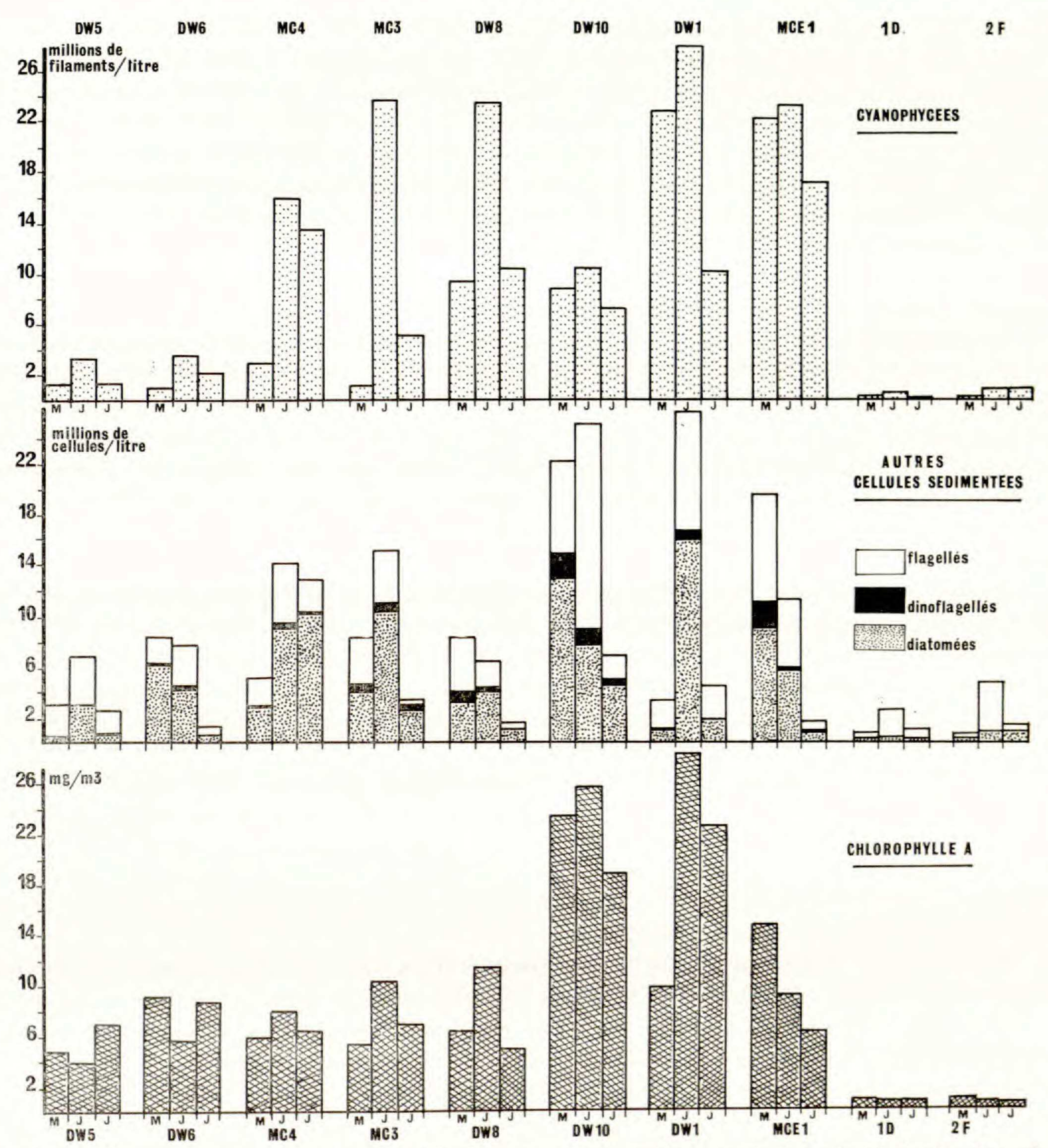


FIG. 4. — Moyennes mensuelles des effectifs des principaux groupes composant le phytoplancton ainsi que de la chlorophylle *a* aux huit stations étudiées dans la baie de Guanabara et aux deux stations au large d'Ipanema de mai à juillet 1978 (eaux de surface).

particulièrement dans le nord, aux stations MCE 1 et DW 1 (près de 27 millions de cellules/litre). Comme les Cyanophycées, les Diatomées sont moins abondantes vers la sortie de la baie mais leur nombre reste tout de même supérieur à 1 million de cellules/litre. Des proliférations de l'ordre de 10 millions de cellules, comme celle qui a eu lieu le 2 mai dans l'anse de Jurujuba (station DW 6), paraissent exceptionnelles dans cette partie de la baie.

Comme pour les Cyanophycées, on constate aussi de fortes variations quantitatives

dans l'espace et le temps, les variations temporelles étant différentes d'une station à l'autre.

Nous avons indiqué, dans le tableau III, les principales espèces responsables des « blooms » ainsi que l'importance de leurs effectifs. Certaines de ces espèces, tout en présentant parfois de fortes proliférations très localisées, se rencontraient aussi dans la grande majorité des prélèvements, pendant les trois mois étudiés, mais à raison d'un plus petit nombre de spécimens. Parmi elles, il faut citer *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve, espèce côtière cosmopolite, déjà signalée comme très abondante dans la baie par Faria et Cunha (1917), mais ces auteurs n'avaient fait aucune numération.

De mai à juillet 1978, le développement le plus intense se situait dans l'anse de Jurujuba, au mois de mai, avec plus de 5 millions de colonies/litre (tabl. III).

On connaît l'importance de cette Diatomée dans la chaîne alimentaire marine puisqu'elle est consommée par les larves de nombreuses espèces de poissons. On sait également que des actions antibiotiques peuvent s'exercer à partir d'organismes phytoplanctoniques vis-à-vis des bactéries. Sieburth et Pratt (1962) ont ainsi mis en évidence, dans les eaux littorales, un facteur anticoliforme libéré dans le milieu lors des poussées de *Skeletonema costatum*. Dans les eaux fortement polluées et riches en coliformes de la baie de Guanabara, cette particularité mérite d'être signalée et pourrait faire l'objet d'une recherche particulière.

Parmi les autres espèces, communes dans l'ensemble de la baie et présentant parfois de forts développements localisés, il faut mentionner *Cyclotella meneghiniana* Kützing et *Cyclotella striata* (Kützing) Grunow, espèces très tolérantes vis-à-vis des conditions de salinité et même adaptées aux eaux saumâtres. Elles ont été signalées en plusieurs points de la côte brésilienne et notamment dans la région lagunaire de Cananeia, un peu plus au sud (25°S) par Teixeira et Kutner (1961).

Des Diatomées appartenant au genre *Cyclotella* sont présentes dans presque tous les prélèvements. Nous avons pu en dénombrer jusqu'à 13 millions/litre. Dans les comptages au microscope inversé, les conditions d'observation ne permettent pas toujours de distinguer les *Cyclotella* d'autres Diatomées ayant à peu près le même diamètre valvaire et qui appartiennent au genre *Thalassiosira*. Ces dernières, bien que très fréquentes, paraissent cependant moins abondantes que les *Cyclotella*.

D'autre part, *Nitzschia closterium* W. Smith, *Nitzschia* sp., *Rhizosolenia fragilissima* Bergon et *Chaetoceros simplex* Ostenfeld sont abondantes dans de très nombreuses récoltes.

Bien que ce travail n'ait pas un caractère qualitatif, comme cela a déjà été mentionné, nous ajoutons cependant que la variabilité dans la répartition spatiale des Diatomées sur le plan quantitatif se retrouve également sur le plan qualitatif. En effet, si l'on examine la succession des principales espèces dans le temps en chaque point de la baie, on voit qu'à la même date les espèces responsables des « poussées » sont différentes d'une station à l'autre. Les populations sont constituées d'une série d'espèces dominantes qui se succèdent dans un ordre différent suivant les secteurs. Ceci n'est d'ailleurs pas surprenant dans la baie de Guanabara où les conditions du milieu, surtout en ce qui concerne la nature de la pollution (fig. 1), sont très hétérogènes. La répartition par taches de « poussées » composées d'espèces différentes semble ici plus imputable à l'influence de substances différentes rejetées dans le milieu qu'à des variations de température ou de salinité.

Si les Diatomées prolifèrent dans l'ensemble de la couche éclairée, leur répartition quantitative présente toutefois une forte hétérogénéité verticale (tabl. II). Au fond de la

couche euphotique (stations MC 3 et MC 4), les effectifs dépassent 1 million de cellules/litre et des multiplications atteignant 6 à 7 millions de cellules y ont été rencontrées. Toutefois, les Diatomées sont beaucoup moins abondantes qu'en surface où elles peuvent constituer des populations de 5 à 10 fois plus importantes que celles de la couche sub-superficielle. Cette inégale répartition semble aller de pair avec la stratification hydrologique.

Pour ces organismes, qui constituent avec les Cyanophycées l'essentiel de la biomasse phytoplanctonique dans la baie, on constate donc une multiplication massive dans l'ensemble du secteur et dans toute la couche euphotique mais aussi une forte hétérogénéité dans le temps et l'espace.

Tableau II. — Effectifs moyens mensuels (en millions de cellules/litre) des Diatomées en surface et au niveau inférieur de la couche euphotique à deux stations de la baie de Guanabara.

Station		Moyenne mai	Moyenne juin	Moyenne juillet
MC3	Surf.	3,9	10,4	2,6
	Prof.	9,4	4,0	2,9
MC4	Surf.	2,7	9,0	10,2
	Prof.	2,5	3,2	1,0

Dinoflagellés

Dans la majorité des prélèvements, ces organismes sont faiblement représentés si on les compare aux Diatomées (fig. 4), mais leur importance est cependant devenue considérable, à certaines époques puisqu'ils dépassaient 10 millions de cellules/litre le 12 mai à la station DW 10. A cette dernière station, les conditions du milieu paraissent d'ailleurs très propices au développement des Dinoflagellés. Parmi les espèces présentes dans la baie, les plus abondantes ont été *Gonyaulax diacantha* [1] (Meunier) Schiller, *Gonyaulax catenata* (Lev.) Kofoid, *Prorocentrum micans* Ehrenberg. Ces espèces ont souvent été signalées dans les eaux saumâtres et la dernière a provoqué l'apparition d'eaux rouges dans la baie de Guanabara (Oliveira, 1950). Toutes trois sont connues dans le monde comme responsables de la formation de ces phénomènes.

Pendant la période de nos observations, les développements massifs de Dinoflagellés ont été assez rares (tabl. III). Ils étaient, de plus, très limités dans l'espace. Les Dinoflagellés représentent rarement plus de 10 % du phytoplancton. C'est au mois de mai qu'ils ont été les plus fréquents, la température plus élevée de l'eau convenant mieux à ces organismes thermophiles.

La proportion des Dinoflagellés a été, en général, un peu plus faible au niveau inférieur de la couche euphotique qu'en surface.

Ainsi, bien qu'ils aient constitué le plus souvent une faible part de la biomasse phytoplanctonique, les Dinoflagellés ont cependant joué un rôle important à plusieurs reprises en se développant intensément et en contribuant ainsi à la formation d'eaux rouges. Nous reviendrons sur ces phénomènes et leurs manifestations dans la baie.

1. Pour ce Dinoflagellé, Sournia (1973) propose un nouveau nom spécifique : *Gonyaulax verior*.

Flagellés (autres que les Dinoflagellés)

Bien que leur proportion soit très variable, les petits Flagellés nus constituent, dans la majorité des récoltes, une part importante de la biomasse phytoplanctonique (30 à 35 % en moyenne). Les populations ont été particulièrement denses dans le nord de la baie (fig. 4) où elles ont dépassé 10 millions de cellules/litre.

Comme les autres constituants du phytoplancton, ces organismes présentent des variations spatiales et temporelles de forte amplitude. Parmi eux, nous soulignerons la faible proportion des Coccolithophoridés qui, en général, ne dépassaient pas 5 %. Des proliférations de l'ordre de 1 million/litre on été tout à fait exceptionnelles.

En revanche, comme nous le verrons dans le paragraphe consacré aux eaux rouges, la baie semble favorable au développement d'un Phytoflagellé dans lequel le Pr. A. Hollande a reconnu une Chloromonadine appartenant vraisemblablement au genre *Chattonella* (étude taxinomique en cours). Les difficultés d'observations de cet organisme viennent de sa très grande fragilité. La fixation provoque en effet l'éclatement de la membrane périplastique qui limite la cellule. La coloration brun rougeâtre que ces Chloromonadines donnaient à l'eau en se multipliant intensément est due à la présence d'une xanthophylle masquant la chlorophylle.

Tableau III. — Principaux développements des espèces phytoplanctoniques (Cyanophycées exceptées) dans la baie de Guanabara en mai et juin 1978.

Date	Station	Espèces	Effectifs (millions de cellules/litre)
2 mai	MC 4	*Cyclotella* + *Thalassiosira*	4,4
2 mai	MC 3	*Cyclotella* + *Thalassiosira*	4,9
2 mai	DW 10	*Cyclotella* + *Thalassiosira*	12,6
2 mai	MCE 1	*Gonyaulax catenata*	1,8
		Gonyaulax diacantha	0,6
12 mai	MCE 1	*Cyclotella meneghiniana*	7,1
12 mai	DW 6	*Rhizosolenia fragilissima*	4,6
12 mai	MC 3	*Chaetoceros simplex*	0,8
12 mai	DW 10	Chloromonadines	19,4
		Gonyaulax diacantha	5,4
23 mai	DW 6	*Skeletonema costatum*	5,2
2 juin	MC 3	*Skeletonema costatum*	2,3
13 juin	DW 1	*Cyclotella meneghiniana*	13,1
		Chloromonadines	2,0
13 juin	MC 4	*Nitzschia closterium*	2,3
		Rhizosolenia fragilissima	3,2
13 juin	MC 3	*Nitzschia closterium*	1,8
		Rhizosolenia fragilissima	1,9
27 juin	MC 3	*Nitzschia* sp.	3,2
27 juin	MC 4	*Nitzschia* sp.	4,1
27 juin	DW 1	*Cyclotella meneghiniana*	16,2
		Nitzschia closterium	2,7

2. Mesure des pigments

Les analyses ont été faites à toutes les stations sur des échantillons d'eau de surface. Les quantités de chlorophylle *a* sont très importantes (fig. 4), mais principalement dans les zones nord et ouest où sont aussi les plus fortes concentrations en cellules : 45 mg m^{-3} à la station DW 10, le 12 mai, période correspondant à la formation d'eaux rouges. Pour ce même pigment, le maximum était à la station DW 1, le 6 juillet, avec 47,7 mg m^{-3}.

Dans la partie axiale de la baie (stations MC 3 et MC 4), ainsi qu'à proximité de son entrée (stations DW 5 et DW 6), les concentrations sont beaucoup moins importantes (fig. 4). La distribution quantitative de la chlorophylle *a* reflète encore l'hétérogénéité de la baie. Si on considère les moyennes mensuelles, on voit qu'elles sont très variables d'une station à l'autre. L'amplitude de variation de ces moyennes a été la suivante :

— en mai, de 4,78 mg m^{-3} (station DW 5) à 23,39 mg m^{-3} (station DW 10) ;
— en juin, de 4,29 mg m^{-3} (station DW 5) à 29,15 mg m^{-3} (station DW 1) ;
— en juillet, de 4,84 mg m^{-3} (station DW 8) à 22,65 mg m^{-3} (station DW 1).

On constate également d'importantes variations temporelles dont l'amplitude augmente quand on va de l'entrée de la baie à sa partie la plus interne (tabl. IV). Cette amplitude est maximale aux stations DW 1, MCE 1 et DW 10 où la chlorophylle *a* peut être plus de trois fois plus abondante à 10 jours d'intervalle.

Tableau IV. — Valeurs minimales et maximales de la chlorophylle *a* (mg m^{-3}) observées dans les eaux de surface, de mai à juillet 1978, aux 8 stations de la baie de Guanabara.

Station	Valeur minimale observée	Valeur maximale observée
DW 5	2,89	13,01
DW 6	3,42	10,47
MC 4	5,39	10,68
MC 3	1,0	13,90
DW 8	3,51	13,82
DW 10	12,15	47,38
DW 1	4,80	47,76
MCE 1	0,51	16,92

Des variations du même type ont été constatées par Galvão (1978) dans la baie de Santos, un peu plus au sud (24°S) et dans d'autres secteurs de même nature (Caperon et coll., 1971).

Dans la baie de Guanabara, un intervalle de temps de 3 h 30 à 4 h séparait la première prise d'échantillon d'eau, dans la zone nord de la baie, des dernières qui avaient lieu aux stations DW 6 et DW 5 vers la mi-journée. Il faut tenir compte de la variabilité horaire dans la concentration de la chlorophylle *a* en relation avec la variation de la radiation incidente (Ryther et Yentsch, 1957). Or, c'est précisément vers la mi-journée que l'accrois-

sement des pigments est susceptible d'être interrompu dans les régions où l'éclairement est intense, de sorte que les grandes différences existant dans la concentration de la chlorophylle entre le fond de la baie et près de son entrée peuvent encore être augmentées par le fait que les prises d'eau dans le secteur le moins riche sont faites précisément au moment de la journée où la chlorophylle *a* est probablement la moins abondante.

Les quantités de chlorophylle *a* sont beaucoup plus élevées dans la baie de Guanabara que celles trouvées plus au sud, sur la côte brésilienne, dans l'État de São Paulo.

Ainsi, dans un secteur également très côtier et bordé de mangroves comme la baie de Ubatuba (23°30 S), TEIXEIRA (1973) signale des concentrations comprises entre 1,1 et 4,2 mg m^{-3}. Encore plus au sud, dans la région lagunaire de Cananeia (25°00 S), le même auteur (1969) obtient des concentrations allant de 3 à 14 mg m^{-3}, la plupart étant inférieures à 10 mg m^{-3}. Mais ce sont là des zones relativement peu atteintes par la pollution. En revanche, dans la baie de Santos où les eaux sont soumises à une forte pollution provenant d'industries ou de rejets domestiques, GALVÃO (1978) trouve jusqu'à 55,32 mg m^{-3}. Il semble même que, dans cette région, la concentration en chlorophylle *a* puisse atteindre 100 mg m^{-3} (GALVÃO, *ibid.*).

Les principaux pics chlorophylliens correspondaient à des proliférations de Diatomées appartenant aux genres *Cyclotella*, *Thalassiosira*, *Nitzschia*, *Skeletonema* ou à des multiplications de Chloromonadines et de Dinoflagellés du genre *Gonyaulax*, en particulier.

La quantité de chlorophylle n'est pas en relation avec l'abondance des Cyanophycées mais il faut souligner que le procédé d'extraction de pigments utilisé ne permettait probablement pas de recueillir ceux de ces algues.

La diversité pigmentaire a été estimée au moyen de l'indice D 430/D 663. Les absorptions à ces deux longueurs d'onde caractérisent bien l'importance respective de l'ensemble des pigments accessoires et de la chlorophylle *a*, principal pigment assimilateur. Selon MARGALEF (1960), cet indice irait de pair avec le stade de maturité des populations, les valeurs basses permettant de délimiter les zones les plus fertiles. C'est ce que montre le même auteur (1971, 1972), dans l'Atlantique africain, au large de la Mauritanie. Dans les mêmes parages, au niveau de la baie du Lévrier (21°N), REYSSAC (1973) obtient des rapports souvent inférieurs à 2,5.

En raison de la grande richesse en phytoplancton de la baie de Guanabara, on pourrait s'attendre à trouver des indices bas. Or, ils sont relativement élevés, sauf pour certaines pêches particulièrement riches comme celles faites dans des eaux rouges où les indices sont de 2,3 à 3. A plusieurs reprises, ils ont même été inférieurs à 2, comme lors de floraisons de Diatomées du genre *Rhizosolenia*. Cependant, dans la majorité des prélèvements, l'indice a été voisin de 5. Il est en moyenne un peu plus faible aux stations DW 10 et DW 1 où nous avons déjà signalé de très denses populations phytoplanctoniques.

Dans ces eaux très riches en matières détritiques, ce rapport D 430/ D 663 reflète-t-il bien la structure du phytoplancton ?

La diversité pigmentaire que traduit ce rapport élevé va ici de pair avec une diversité spécifique que nous avons constatée, mais non chiffrée, dans les numérations cellulaires, estimant que cette méthode ne permettait pas d'identifier bon nombre de cellules au niveau de l'espèce. Sauf dans des cas assez rares de fortes dominances (*Nitzschia*, *Cyclotella*), les populations se composaient de trois ou quatre espèces bien représentées. Cette diversité spécifique peut donc expliquer en partie la diversité pigmentaire. Dans la baie, le rapport

dépasse souvent 6 et même 7. Si on fait une comparaison avec d'autres régions, on voit qu'en Méditerrannée, par exemple, dont on sait la pauvreté des eaux, ce rapport est rarement inférieur à 3 (Travers, 1971). Il est compris entre 3 et 5 lors des poussées et, en dehors des périodes de multiplications cellulaires, il peut dépasser 10 et même 20 (Travers, *ibid.*). Sur la côte catalane espagnole, les valeurs inférieures à 6 se rencontreraient seulement pendant la poussée printanière (San Feliu et Munoz, 1975). Des rapports si élevés seraient dus au fait que les pigments responsables de l'absorption à 430 nm appartiennent surtout au tripton (Travers, 1971), ou à une importante proportion d'agrégats organiques (Jacques, 1969). C'est ce que nous nous proposons de vérifier dans la baie de Guanabara grâce à un traitement par acidification.

3. Mesure de la production primaire

Les résultats fournis par cette méthode confirment la grande richesse de la baie. Il faut cependant souligner que l'expérience a été effectuée dans les eaux de la baie de Botafogo que les numérations de cellules sédimentées et les dosages de pigments désignent comme les moins riches. On peut donc considérer, à priori, que les quantités de carbone assimilé par le phytoplancton en ce même point sont les plus faibles que l'on peut rencontrer dans la baie (tabl. V).

Tableau V. — Quantités de carbone assimilé en surface et au fond à la station DW 5 (mg C m^{-3} j^{-1}). Estimations de la productivité de l'ensemble de la couche d'eau (mg C m^{-2} j^{-1}).

Date	mg C m^{-3} jour		mg C m^{-2} jour
	Surface	Fond	
4 mai	401,73	35,01	1 090
12 mai	1 134,23	64,92	2 997
23 mai	321,91	2,73	807
2 juin	452,60	66,78	1 295
13 juin	500,19	53,51	1 382
27 juin	937,81	31,60	2 420
6 juillet	491,86	124,62	1 287
13 juillet	1 374	85,57	3 647

En surface, les moyennes mensuelles sont supérieures à 600 mg C m^{-3} j^{-1}, c'est-à-dire qu'elles sont du même ordre que les valeurs maximales trouvées dans les eaux les plus riches de la côte mauritanienne (baie du Lévrier), dont la fertilité est parmi les plus élevées du monde (Reyssac, 1973, 1975, 1977). En nous limitant à des eaux très côtières comme celles que nous étudions ici, signalons que sur le littoral brésilien, Teixeira (1973) indique, pour la zone de Ubatuba, des productions allant de 1,01 à 28,16 mg C m^{-3} h^{-1}, ce qui donnerait, en extrapolant à la journée solaire, une quantité maximale de carbone de 337,92 mg C m^{-3}. Les maxima à Ubatuba correspondraient ainsi aux minima dans la baie de Botafogo.

Dans la région de Cananeia, le même auteur (1969) signale une valeur maximale excep-

tionnelle de 92,52 mg C m^{-3} h^{-1} (soit environ 1 100 mg C m^{-3} j^{-1}) dans un marigot. Or, de telles quantités ne paraissent pas rares dans la baie de Guanabara (tabl. V). Enfin, dans la baie de Santos, Galvão (1978) indique des variations comprises entre 242 et 2354 mg C m^{-3} j^{-1} en hiver, entre 524 et 6 344 mg C m^{-3} j^{-1} en été. Nos résultats sont comparables à ceux de ce dernier auteur qui a travaillé dans un milieu similaire du point de vue du degré de pollution.

Il semble donc qu'on puisse considérer de telles productions comme caractéristiques de régions eutrophiques.

A la limite inférieure de la couche euphotique, les productions sont encore très élevées. A partir des résultats obtenus à ce niveau et en surface, on peut faire une estimation [1] de la production totale de l'ensemble de la couche d'eau en ce point (tabl. V). Celle-ci atteindrait 3,6 g C m^{-2} j^{-1}, c'est-à-dire qu'elle serait de l'ordre de grandeur des maxima mondiaux.

4. Les eaux rouges dans la baie de Guanabara

La formation d'eaux rouges dans la baie a été observée depuis longtemps. Faria et Cunha (1917) sont les premiers à décrire le phénomène dans ces parages. L'espèce responsable serait le Dinoflagellé *Glenodinium trochoideum* Stein (rattaché maintenant au genre *Srippsiella* Loeblich par Sournia, 1973). D'après ces auteurs, cette espèce apparaît fréquemment dans la baie, parfois en grand nombre, et dans ce cas, donne à l'eau une coloration rouge. Ils notent que ce phénomène se manifeste principalement dans les couches les plus superficielles, dans des endroits où la profondeur est faible et les eaux calmes. Quand la prolifération est intense, Faria et Cunha (*ibid.*) constatent d'importantes mortalités de poissons (*Sardinella*, *Mugil*). Ce fut le cas en juin 1913.

D'autre part, Oliveira (1950) signale aussi de fortes mortalités de poissons (sardines) et crustacés en août 1946 et avril 1948. Selon cet auteur, les eaux rouges dans la baie seraient aussi provoquées par la prolifération de *Prorocentrum micans*, comme en juin et juillet 1949 où le phénomène avait duré 7 à 10 jours.

Il est certain que la baie de Guanabara est un secteur propice à la formation d'eaux rouges puisque ces dernières apparaissent principalement dans des eaux chaudes, calmes et riches en éléments nutritifs. Le fait que le degré de pollution ait fortement augmenté depuis les observations de Faria et Cunha ne peut que favoriser leur apparition. En effet, on sait que la pollution peut avoir un effet sur le développement des espèces, comme le souligne Iwasaki (1973) qui constate une étroite relation entre l'apparition des marées rouges et le niveau d'eutrophisation des eaux. Des substances métalliques comme le fer et le manganèse ou organiques (dérivés d'acides nucléiques, par exemple) provoquent une croissance explosive de certaines espèces.

Nous avons déjà signalé que, pendant la période de nos observations, des phénomènes d'eaux rouges s'étaient manifestés à plusieurs reprises. Ils se sont situés dans les parages de la station DW 10 (fig. 1) et dans la partie nord de la baie où nous avons observé plusieurs taches d'eaux colorées en brun rouge. C'est à la station DW 10 qu'ont été trouvées les populations les plus denses (tabl. VI). Le 12 mai, une large tache, très fortement colorée en rouge-brun, occupait tout le secteur compris entre la bordure sud de l'île do Governador

1. Cette estimation, très approximative, est représentée par la moyenne des productions en surface et au fond multipliée par la distance (en mètres) séparant les deux niveaux.

et la côte (fig. 1). Malgré la grande abondance des Dinoflagellés (> 10 millions/litre), et en particulier de *Gonyaulax diacantha* (5,4 millions/litre), il semble que la coloration de l'eau soit à attribuer surtout à la pullulation d'un Phytoflagellé du groupe des Chloromonadines qui atteignait près de 20 millions de cellules/litre. Le 27 juin, un phénomène identique se produisait dans les mêmes parages. La population comprenait de nombreux Dinoflagellés (4,4 millions/litre) et 17 millions/litre de Chloromonadines. Parmi les Dinoflagellés, *Prorocentrum micans* atteignait 800 000 cellules/litre. C'est à cette station que la coloration de l'eau a été la plus intense. Les eaux rouges observées dans le nord de la baie étaient moins riches en organismes. Ainsi, à la station DW 1 le 6 juillet, on dénombrait 3,6 millions de Chloromonadines/litre et, le 13 juin, 1,9 millions/litre. Ces organismes sont apparus fréquemment aux autres stations de la baie mais, ou bien à raison de quelques exemplaires isolés, ou bien en quantité trop faible pour provoquer un changement dans la coloration de l'eau.

Il faut signaler qu'aucune mortalité de poissons n'a suivi l'apparition de ces eaux rouges bien que la toxicité des Chloromonadines ait été mise en cause par Subrahmanyan (1954) pour expliquer une importante mortalité de poissons, mollusques et crustacés sur la côte ouest des Indes.

Le fait que nous n'ayons pas constaté de mortalité de poissons dans la baie de Guanabara est probablement dû au fait que les eaux rouges y étaient très localisées, ce qui donnait aux organismes marins mobiles la possibilité de s'en éloigner.

Ajoutons enfin que, malgré leur grande abondance dans la baie, les Cyanophycées n'ont pas provoqué de changement dans la coloration de l'eau.

Tableau VI. — Principales caractéristiques des eaux rouges rencontrées dans la baie de Guanabara de mai à juillet 1978.

Station	Date	Nombre total de cellules (millions/litre)	Principaux constituants	Chloroph. *a* (mg/m3)	Indice D 430 / D 663	Observations
DW 10	12-05	48	Chloromonadines *G. diacantha* *P. micans* Diatomées	45,3	3,34	très forte coloration
DW 10	27-06	45	Chloromonadines Nombreuses espèces de Dinoflagellés (*Peridinium*, *Prorocentrum*)	47,3	2,42	très forte coloration
DW 1	06-07	7	Chloromonadines Cyanophycées	47,7	2,99	faible coloration
DW 1	13-06	25	Chloromonadines Cyanophycées Diatomées	37,1	4,30	très faible coloration

B. — Secteur océanique au large d'Ipanema

1. Numérations des cellules

Elles ont été faites à partir d'échantillons d'eau provenant de la surface et du niveau inférieur de la couche euphotique.

Les résultats montrent que le phytoplancton est beaucoup moins abondant que dans la baie (fig. 4) malgré la position très côtière des stations et la proximité de l'égout sous-marin dont on pouvait attendre une influence sur le développement des organismes. Comme dans la baie, c'est en juin que les effectifs sont les plus importants. Ils ont atteint 7,5 millions de cellules/litre. Mais de telles abondances sont très rares et, en général, les populations ont moins de 1 million de cellules.

On constate (fig. 4) que les effectifs au point 2 F sont un peu plus denses qu'au point 1 D bien que cette dernière station soit plus exposée aux influences de l'égout.

Le phytoplancton est aussi parfois plus abondant au niveau inférieur de la couche euphotique qu'en surface mais, en moyenne, les différences sont faibles (tabl. VII).

Cyanophycées

Contrairement à ce qui avait été observé dans la baie où ces organismes pullulent, les Cyanophycées sont ici peu nombreuses : de 1,2 à 1,5 million de filaments/litre en surface, mais, généralement, elles ne dépassent pas 1 million. Elles sont un peu plus abondantes au fond de la couche éclairée (tabl. VII), la différence avec la surface étant parfois assez grande. C'est d'ailleurs à ce niveau profond que les plus fortes proliférations ont eu lieu (jusqu'à 8,6 millions de filaments/litre).

Les différences entre les deux stations peuvent être assez importantes, que ce soit en surface ou dans la couche sub-superficielle. Comme dans la baie, c'est pendant le mois de juin que les plus forts développements se sont manifestés (fig. 4).

Diatomées

La proportion des Diatomées a été très variable : de 4 à 72 % des effectifs et, en général, de 20 à 40 %. Même dans le cas où leur proportion est élevée, elles ne forment pas d'aussi importantes populations que dans la baie.

En surface, le maximum a été de 1,6 million de cellules/litre mais on compte moins de 1 million de cellules/litre dans la majorité des prélèvements, les peuplements étant le plus souvent un peu plus denses à la station la plus éloignée de la côte. Aucune floraison importante ne s'est manifestée à la station la plus proche de la sortie de l'égout.

Au niveau inférieur de la couche euphotique, nous avons, à plusieurs reprises, constaté des proliférations de Diatomées aux deux stations (tabl. VII) : jusqu'à 2,7 millions de cellules/litre à la station 1D, de 1,6 à 3,8 millions à la station 2F. Le fait que ces développements se produisent aussi dans la zone qui est hors de l'influence des eaux usées de l'égout indique bien que ce dernier n'est pas le facteur ou plutôt le seul facteur responsable de ces multiplications.

Dinoflagellés

Les comptages font apparaître leur très faible participation à la biomasse végétale totale (moins de 4 %). Dans les échantillons d'eau examinés, les Dinoflagellés n'étaient

présents qu'à raison de quelques exemplaires isolés. Ils n'ont pas dépassé 100 000 cellules/litre. Au niveau inférieur de la couche euphotique, ils sont aussi clairsemés qu'en surface.

Des proliférations intenses donnant lieu à des eaux rouges ont cependant été signalées dans cette région. L'espèce responsable, *Exuviaella apora* [1] Schiller aurait atteint 8,5 millions de cellules/litre (Rodrigues de Britto, 1978).

Flagellés

Ce sont, avec les Diatomées, les principaux constituants du phytoplancton. Ils représentent plus de 50 % des effectifs dans la grande majorité des prélèvements. En surface, nous avons noté de très forts développements voisins de 5 millions de cellules/litre, le maximum se situant à la station 2F le 29 juin avec 6,3 millions de cellules.

Ces organismes prolifèrent aussi au niveau inférieur de la couche euphotique où, aux deux stations, les effectifs étaient du même ordre qu'en surface.

Aucun « bloom » de Chloromonadines n'a été rencontré mais ces Phytoflagellés étaient cependant présents dans beaucoup de pêches à raison de quelques exemplaires.

La proportion des Coccolithophoridés est restée, le plus souvent, inférieure à 10 %.

Tableau VII. — Moyennes mensuelles de l'ensemble des cellules sédimentées en surface et au niveau inférieur de la couche euphotique, au large d'Ipanema, de mai à juillet 1978 (résultats en millions de cellules/litre).

Station		Moyenne mai	Moyenne juin	Moyenne juillet
Ensemble du phytoplancton (Cyanophycées exceptées)				
2F	Surf.	5,4	4,7	1,4
	Prof.	7,7	4,0	3,7
1D	Surf.	6,2	2,4	0,9
	Prof.	0,5	3,9	0,5
Cyanophycées				
2F	Surf.	0,2	0,8	0,9
	Prof.	0,2	0,8	1,7
1D	Surf.	0,1	0,4	0,04
	Prof.	0,2	3,7	0,5
Diatomées				
2F	Surf.	0,3	0,8	0,8
	Prof.	0,3	0,7	3,2
1D	Surf.	0,2	0,3	0,2
	Prof.	0,1	1,0	0,3

1. Cette espèce est rattachée par Sournia (1973) au genre *Prorocentrum*.

2. Mesures des pigments

Ces mesures ont été faites dans les eaux de surface.

Par comparaison avec la baie, les concentrations en chlorophylle *a* paraissent très faibles puisqu'elles sont rarement supérieures à 1 mg m^{-3}. Les moyennes mensuelles (fig. 4), comprises entre 0,5 et 1 mg m^{-3} sont comparables à celles trouvées dans d'autres régions littorales tropicales. En Côte d'Ivoire, par exemple, sur les fonds de 25 m, Reyssac (1970) trouve une moyenne annuelle de 0,55 mg m^{-3}. Dans les eaux côtières de Madagascar, Sournia (1968) obtient des valeurs comparables.

Les variations temporelles aux deux stations ont été relativement importantes si l'on considère le court laps de temps étudié : de 0,23 à 1,55 mg m^{-3} à la station 1 D, de 0,18 à 1,47 mg m^{-3} à la station 2 F. L'évolution quantitative de la chlorophylle *a* est la même aux deux stations.

Le rapport pigmentaire D 430/D 663 était compris entre 4,65 et 7,23 avec une moyenne voisine de 5,5. Il est très semblable aux deux stations. Dans ces eaux beaucoup moins riches en matière détritique que celles de la baie, on peut estimer que cet indice est plus représentatif des caractéristiques structurales du phytoplancton. Il traduirait ainsi une activité moyenne des cellules, mais nos résultats sont encore trop limités dans le temps pour que nous puissions tirer une conclusion définitive.

L'ensemble de nos observations permet cependant de constater qu'aucune prolifération très abondante de phytoplancton n'a eu lieu dans ce secteur. Les valeurs sont du même ordre que celles qu'on obtient généralement dans des eaux côtières tropicales non soumises à des affleurements mais recevant des influences continentales fertilisantes. Ici, l'influence fertilisante paraît plus imputable à la proximité de la baie de Guanabara qu'à une action locale provoquée par l'égout sous-marin. Nos observations et nos conclusions rejoignent donc celles déjà faites antérieurement (Rodrigues de Britto, 1978), à savoir que les populations phytoplanctoniques n'ont pas subi de modifications vraiment significatives malgré la quantité de matière organique rejetée dans cette zone par cet égout.

Discussion et conclusions

Dans ce premier travail sur la baie de Guanabara (État de Rio de Janeiro, Brésil) et le secteur océanique voisin, nous avons voulu donner un aperçu de l'importance quantitative du phytoplancton et de ses variations dans l'espace et le temps dans des milieux caractérisés par une forte pollution. Les observations, qui s'échelonnent de mai à juillet 1978, ont été faites tous les dix jours en huit stations réparties dans l'ensemble de la baie et en deux stations situées dans les eaux océaniques à proximité de la sortie de la baie, au large d'Ipanema.

Examinons successivement les résultats obtenus dans chacun de ces deux secteurs.

Baie de Guanabara

D'une superficie de 400 km^2, cette baie est soumise à une intense pollution provoquée par des résidus industriels et domestiques qui ont profondément modifié son milieu.

Pendant la période de nos observations, la température des eaux a été assez homogène (22 à 24°C) mais les salinités, en revanche, ont été très variables suivant les stations et suivant l'état de la marée. Elles sont voisines de $34^{o}/_{oo}$ à l'entrée de la baie alors que la partie la plus interne est occupée par des eaux saumâtres ($< 30^{o}/_{oo}$). La faible amplitude des marées (0,5 à 1,3 m), et l'étroitesse de l'entrée de la baie (1 600 m), font que ce secteur est assez isolé des influences du large et que ses eaux sont relativement peu renouvelées.

Du fait de la très grande quantité de matière en suspension (souvent plus de 10 mg/l), la couche euphotique est peu épaisse. Dans la partie de la baie la plus éloignée de l'océan, elle est de 1 à 2,5 m alors qu'elle peut dépasser 5 m dans sa partie la plus méridionale.

La concentration en oxygène dissous a été généralement comprise entre 4 et 6 ml/l.

Les eaux les plus riches en phosphates sont celles du nord de la baie où les teneurs ont parfois dépassé 1 µg at/l.

Les résultats de comptages de cellules sédimentées et des dosages de la chlorophylle *a* traduisent une richesse exceptionnelle en phytoplancton. Des populations dépassant 10 millions de cellules/litre sont fréquentes. Les Cyanophycées, qui présentent des développements considérables (jusqu'à 45 millions de filaments/litre), constituent, en général, l'essentiel de la biomasse phytoplanctonique. Les Diatomées forment aussi des peuplements très denses (> 5 millions de cellules/litre et jusqu'à près de 27 millions dans le nord de la baie). Elles appartiennent principalement aux genres *Cyclotella*, *Thalassiosira*, *Skeletonema* et *Nitzschia*. Bien que les Dinoflagellés aient été peu représentés dans la majorité des récoltes, ils ont cependant pris une importance considérable, à plusieurs reprises (près de 11 millions de cellules/litre), surtout dans les zones les plus calmes de la baie où ils ont contribué à la formation d'eaux rouges. *Gonyaulax diacantha*, *Gonyaulax catenata* et *Prorocentrum micans* ont été particulièrement abondants.

Les conditions naturelles dans la baie (eaux chaudes et calmes) sont déjà propices à l'apparition d'eaux rouges mais le risque se trouve encore accru par l'apport d'éléments nutritifs dus à la pollution. Ces conditions ont favorisé la pullulation d'un Phytoflagellé du groupe des Chloromonadines dont la concentration a été proche de 20 millions de cellules/litre. Ce sont surtout ces organismes, et non les Dinoflagellés, qui ont provoqué l'apparition d'eaux rouges pendant la période étudiée.

Les conditions exceptionnellement favorables au développement du phytoplancton dans la baie font que, même lorsqu'elles sont très denses (plus de 20 millions de cellules/litre), les populations sont assez diversifiées du point de vue spécifique. La théorie générale qui veut que les peuplements riches en individus soient, en revanche, pauvres en espèces, ne se vérifie pas ici. Dans le cas des eaux rouges, par exemple, qu'il est classique de décrire comme des communautés monospécifiques ou très pauvres en espèces, nous avons au contraire dans la baie une assez grande diversité spécifique avec un mélange de Chloromonadines, de Dinoflagellés, de Diatomées et de Cyanophycées, chacun de ces groupes étant représenté par plusieurs millions d'individus. Le fait qu'il n'apparaisse pas de phénomène de compétition entre les espèces montre que chacune d'elles trouve des conditions optimales à sa multiplication. Ceci reflète bien le caractère particulièrement propice du milieu.

Comme on pouvait s'y attendre, les concentrations en chlorophylle *a* sont très élevées, surtout dans le nord de la baie où elles dépassent fréquemment 20 mg m^{-3}. La valeur maximale (47,7 mg m^{-3}) correspondait à un prélèvement fait dans les eaux rouges.

Le rapport des densités optiques à 430 et 663 nm de longueur d'onde, qui est en général voisin de 5, peut paraître élevé pour une région de haute fertilité. Ceci peut s'expliquer en partie par une diversification qualitative des pigments qui accompagne la diversification spécifique du phytoplancton, mais il semble que ce soit la quantité importante de matière détritique en suspension dans l'eau qui en soit surtout responsable. Dans le milieu très particulier de la baie, il ne semble pas que cet indice traduise bien les propriétés dynamiques du phytoplancton.

L'importance des populations phytoplanctoniques ressort aussi des résultats des mesures de la production primaire (méthode du 14 C « in situ ») obtenus dans la baie de Botafogo. Bien que les eaux soient ici les moins riches de toute la baie, la production primaire est très élevée : moyennes mensuelles supérieures à 600 mg C m^{-3} j^{-1}. Le maximum observé était de 1374 mg C m^{-3} j^{-1}. Des valeurs aussi fortes peuvent difficilement être rapprochées des résultats obtenus dans d'autres régions côtières tropicales non soumises à une si intense pollution. Nous les considérons comme caractéristiques de milieux transformés ainsi que cela a déjà été dit, plus au sud, pour la baie de Santos, dont le degré de pollution est comparable à celui de la baie de Guanabara.

En ce qui concerne les variations temporelles, on constate que l'amplitude augmente quand on va de l'entrée de la baie à la zone la plus interne.

L'abondance exceptionnelle des cellules dans la baie peut être tenue comme caractéristique d'une région eutrophique.

Secteur océanique au large d'Ipanema

Le but du travail était de voir si le déversement du grand égout sous-marin d'Ipanema avait un effet sur le développement du phytoplancton. Il nous paraît toutefois indispensable de ne pas dissocier l'étude de ce secteur de celle de la baie de Guanabara, toute proche, et dont l'influence sur la zone océanique au large d'Ipanema doit être prise en compte. L'égout sous-marin n'est donc pas ici la seule source d'enrichissement susceptible de provoquer une augmentation de l'activité du phytoplancton.

Cette partie de la côte brésilienne est occupée par des eaux de mélange (eaux côtières, tropicales et sub-tropicales). L'influence côtière se traduit par une certaine dessalure en surface (35-35,5 $^{0}/_{00}$). Les températures sont de 22 à 24°C. Par suite de la faible quantité de matière en suspension ($<$ 5 ml/l), l'épaisseur de la couche euphotique est importante : 18 et 26 m en moyenne respectivement aux deux stations. Les concentrations en oxygène dissous sont généralement proches de 5 ml/l. Les quantités de phosphates sont relativement faibles si on les compare à celles de la baie : 0,20 à 0,25 μg at/l.

Aucun phénomène d'affleurement ne se manifeste ici.

La densité des peuplements est bien moindre que dans la baie. Dans la majorité des prélèvements, ils ne dépassent pas 1 million de cellules/litre. Le plus souvent, les Cyanophycées ont des effectifs du même ordre. Les Flagellés, parmi lesquels ont été rencontrés quelques exemplaires de Chloromonadines et les Diatomées sont les principaux constituants du phytoplancton. Les proliférations, qui ont un caractère beaucoup plus atténué que dans la baie, se sont surtout manifestées au niveau inférieur de la couche euphotique (jusqu'à 8,6 millions de filaments/litre pour les Cyanophycées et jusqu'à 3,8 millions de cellules/ litre pour les Diatomées.

A la station la plus soumise au déversement de l'égout, le développement du phytoplancton n'était pas plus important qu'à la station la plus éloignée.

Les Dinoflagellés ont été rares dans l'ensemble des récoltes.

Les concentrations en chlorophylle *a* semblent également très faibles par rapport à celles de la baie (moins de 1 mg m^{-3}).

Ces résultats quantitatifs sont comparables à ceux qu'on peut obtenir dans des régions littorales tropicales soumises à des influences continentales provenant de sources variées. Ici, ces influences fertilisantes proviennent de l'égout d'Ipanema, de la lagune de Freitas et de la baie de Guanabara.

Malgré ces apports, l'abondance des populations phytoplanctoniques ne semble pas avoir subi de modifications significatives.

Ce travail sur le phytoplancton, dont nous venons de donner les résultats préliminaires, doit être poursuivi afin de faire connaître l'évolution quantitative des organismes dans ces deux régions au cours d'un cycle annuel.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Anonyme, 1966. — Determination of photosynthetic pigments in sea-water. Monogr. oceanogr. Methodol. Unesco, **1** : 69 p.

Caperon, J., S. A. Catell, et J. Kranti, 1971. — Phytoplancton kinetics in a subtropical estuary : eutrophication. *Limnol. Oceanogr.*, **16** (4) : 599-607.

Doty, M. S., et M. Oguri, 1957. — Evidence for a photosynthetic daily periodicity. *Limnol. Oceanogr.*, **2** : 37-40.

Faria, J. G., et A. M. Cunha, 1917. — Estudos sobre o microplancton da baía de Rio de Janeiro e suas imediações. *Mems Inst. Oswaldo Cruz*, **9** (1) : 68-93.

Galvão, S. M., 1978. — Produção primaria da baía de Santos, estado de São Paulo. Aspectos sobre a eficiencia fotossintetica num ambiente marinho poluido. Tese mestrado, univ. São Paulo, Inst. océanogr. : 1-53.

Iwasaki, H., 1973. — Pollution marine d'origine organique et marées rouges dans la mer Intérieure. *Bull. Soc. franco-jap. océanogr.*, **11** (2) : 113-118.

Jacques, G., 1969. — Aspects quantitatifs du phytoplancton de Banyuls-sur-Mer (golfe du Lion) III. Diatomées et Dinoflagellés de juin 1965 à juin 1968. *Vie et Milieu*, B, **20** (1) : 81-126.

Marchand, M., et E. Duursma, 1975. — Résidus de DDT et de polychlorobiphenyles (P.C.B.). Identification et dosage dans les moules et le plancton de la côte nord-ouest méditerranéenne. *Bull. Un. océanogr. Fr.*, **7** (1-2) : 21-24.

Margalef, R., 1960. — Valeur indicatrice de la composition des pigments du phytoplancton sur la productivité, composition taxonomique et propriétés dynamiques des populations. *Rapp. Commn int. mer Médit.*, **15** (2) : 277-281.

— 1971. — Una campaña oceanografica del « Cornide de Saavedra » en la región del afloramiento del noroeste africano. *Investigación pesq.*, **35** (supl.) : 1-39.

— 1972. — Hidrografia de la región del afloramiento del noroeste de Africa. *Res. Exp. Cient. B/O Cornide*, **1** (supl.) *Investigación pesq.* : 1-21.

Moreira, G. S., 1976. — Sobre o migração vertical diaria do plancton ao largo de Santos, estado de São Paulo, Brasil. *Bolm Inst. Oceanogr.* São Paulo, **25** (1) : 55-76.

Oliveira, L. H. P., 1950. — Levantamento biogeografico da baía de Guanabara. *Mems Inst. Oswaldo Cruz*, **48** : 363-391.

Reyssac, J., 1970. — Phytoplancton et production primaire au large de la Côte d'Ivoire. *Bull. Inst. fond. Afr. noire*, sér. A, **32** (4) : 869-981.

— 1973. — Aspect quantitatif du phytoplancton de la baie du Lévrier (Mauritanie). *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, 3e sér., no 149, Écologie générale 5 : 101-112.

— 1975. — Évolution quantitative du phytoplancton de la baie du Lévrier de septembre à novembre 1973. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, 3e sér. no 328, Écologie générale 26 : 69-79.

— 1977. — Hydrologie, phytoplancton et production primaire de la baie du Lévrier et du banc d'Arguin. *Bull. Inst. fond. Afr. noire*, sér. A, **39** (3) : 487-554.

Rodrigues de Britto, E., 1978. — Monitoragem do emissário submarino de esgotos de Ipanema. Notas de aulas (non publié). Curso de extensão, univ. Santa Úrsula, Rio de Janeiro, julho 1978 : 58 p. ronéo.

Ryther, J. H., et C. S. Yentsch, 1957. — The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. *Limnol. Oceanogr.*, **2** (3) : 281-286.

San Feliu, J. M., et F. Munoz, 1965. — Hidrografia y plancton del puerto de Castellon, de junio de 1961 a enero de 1963. *Investigación pesq.*, **28** : 3-48.

Sieburth, J. M. N., et D. M. Pratt, 1962. — Anticoliform activity of the sea water associated with the termination of *Skeletonema costatum* blooms. *Trans. N. Y. Acad. Sci.*, ser. 2, **24** : 498-501.

Signorini, S. R., 1976. — Contribuição ao estudo da circulação e do transporte de volume da corrente do Brasil entre o Cabo de São Tomé e a Baía de Guanabara. *Bolm Inst. Oceanogr.* São Paulo, **25** (2) : 157-220.

Sournia, A., 1968. — Variations saisonnières et nycthémérales du phytoplancton marin et de la production primaire dans une baie tropicale, à Nossy Bé (Madagascar). *Int. Revue ges. Hydrobiol. Hydrogr.*, **53** (1) : 1-76.

— 1973. — Catalogue des espèces et taxons infraspécifiques de Dinoflagellés marins actuels publiés depuis la révision de J. Schiller. I. Dinoflagellés libres. *Nova Hedwigia*, **48** : 1-92.

Subrahmanhan, R., 1954. — On the life and ecology of *Hornellia marina gen.* et *sp. nov.* (Chloromonadine) causing green discoloration of the sea and mortality among marine organisms off the Malabar Coast. *Indian J. Fish.*, **1** : 183-206.

Teixeira, C., 1969. — Estudo sobre algumas caracteristicas do fitoplancton da região de Cananeia e o seu potencial fotossintetico. Tese Doc. Univ. São Paulo : 1-43.

— 1973. — Preliminary studies of primary production in the Ubatuba region (Lat. 23°30′ S-Long. 45°06′ W) Brasil. *Bolm Inst. Oceanogr.*, São Paulo, **22** : 49-58.

Teixeira, C., et M. B. Kutner, 1961. — Contribuição para o conhecimento das diatomaceas da região de Cananeia. *Bolm Inst. Oceanogr.* São Paulo, **11** (3) : 41-74.

Travers, M., 1971. — Le microplancton du golfe de Marseille : étude quantitative, structurale et synécologique ; variations spatio-temporelles. Thèse Doc. État, Fac. Sci. Marseille, A. O. 3511 : 1-595.

Yoshida, T., 1973. — Bioconcentration dans les Diatomées marines. *Bull. Soc. franco-jap. océanogr.*, **11** (2) : 99-102.

Manuscrit déposé le 19 juin 1979.